

## 沈殿藍製造における成分変化

世嘉良宏斗、荻 貴之、松本亜里奈

リュウキュウアイを原料とする沈殿藍について、製造過程における原料成分の変化量や反応時間を調べるとともに、発酵建てに適した沈殿藍を得るための条件を検討した。浸漬工程では、酵素反応によるインジカンからインドキシルへの変換は藍葉の中で短期間に進行し、その後、インドキシルが浸漬液へ溶出していることが示唆された。浸漬時間が長くなると色素収量が減少するのは、インドキシルが浸漬中に分解することが要因のひとつであることを示した。攪拌・酸化の工程では、インジゴの酸化生成とともに、消石灰が炭酸化されることで、色素回収率が低下することを明らかにした。さらに、沖縄県内で分離した藍還元菌は、高 pH 条件 (pH 11.6 以上) では生育できないことを明らかにし、消石灰を過剰に加えた沈殿藍は発酵建てが困難となることを示した。

### 1 はじめに

沖縄地域における藍染めでは、リュウキュウアイ (*Strobilanthes cusia*) 等の藍植物を原料とする沈殿藍 (泥藍) が用いられる。沈殿藍は、タデアイから生産される葉 (すくも) と比較して、短期間で製造できる利点がある。沈殿藍の製造 (製藍) では、まず、新鮮な藍葉を水に浸漬して、色素の前駆体を抽出する。このとき、藍葉中のインジカンが酵素によって加水分解されて、インドキシルへ変換される。次に、抽出液を消石灰とともに攪拌・酸化させて、藍色の色素・インジゴへ変換する。その後、消石灰等とともに沈殿したインジゴを回収することで、染料・沈殿藍を得ることができる (図1)。

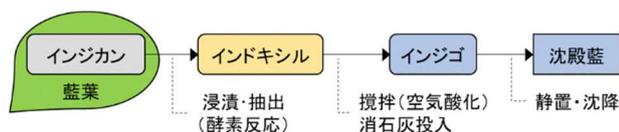


図1 沈殿藍製造工程

現代的な染色技術が普及する以前は、藍染めされた織物は世界各地で取引されており、沈殿藍は古くから様々な地域で同様に製造されてきた。しかし、安価に製造できる合成色素の普及により、沈殿藍の需要は減少し、近年では各地の伝統的な製造・染色技術の継承が危ぶまれている。そのため、各地の製藍・染色に関する技術体系を明らかにし、記録するための民族誌的な調査も行われている<sup>1,2)</sup>。一方、近年では、生活様式の多様化から天然の藍が見直されつつあり、伝統的な製法を基盤として、新たな製品開発も行われている<sup>3)</sup>。また沖縄県では、リュウキュウアイの栽培や、沈殿藍製造、染色方法等についての調査を行い、伝統技術の継承のために事例やマニュアルを作成・公開している<sup>4,5)</sup>。

天然の藍は生薬としても用いられることから、近年報

告されている研究論文は薬理作用に関するものが多いが、沈殿藍の製造や染色技術に関しても様々な研究が行われている。沈殿藍の製造において、収穫した藍葉の保管や浸漬、攪拌 (酸化) に関する条件 (時間、温度、pH 等) は、色素の収量に影響すると考えられ、様々な藍植物を用いた検討が行われている。タデアイ (*Polygonum tinctorium*) を用いた収穫後の保管条件の影響を調べた研究では、収穫から浸漬まで1日以上経過すると、沈殿藍中のインジゴ含量が減少することが示されている<sup>6)</sup>。また、浸漬時間については、25-26°Cの条件下で、2.5日を超えると収量が減少することが報告されている<sup>7)</sup>。タイワンコマツナギ (*Indigofera tinctoria*) を用いた酸化条件の検討では、酸化に関連する溶存酸素や酸化還元電位、pH の測定値とインジゴ生成との間に相関はなく、インジゴの粒子凝集サイズが酸化の指標となることを報告している<sup>8)</sup>。リュウキュウアイを原料とする沈殿藍については、「適当な浸漬時間を超過すると、灰色っぽい藍染料ができる」とか、「攪拌の時間は短過ぎてもよくないし、長過ぎてもよい結果が得られない」などと記されている<sup>9)</sup>。浸漬や攪拌は、色素前駆体の抽出や酵素反応、酸化反応のために、十分な時間をかけて行う必要があると考えられるが、長時間行うことで品質が低下するとされている理由は明らかではない。

さらに、これらの藍染料を用いた伝統的な藍染めでは、沈殿藍の発酵によって、藍還元菌と呼ばれる微生物を増殖させて、その還元力を利用して染色を行う。藍還元菌は、アルカリ性の藍染め液の中で増殖可能な細菌で、沖縄県内の藍染め液からはアルカリバクテリウム属に分類されるものが多く分離されている<sup>10)</sup>。アルカリバクテリウム属細菌は、葉を用いた藍染め液からも分離され、その性質が報告されているが<sup>11)</sup>、沖縄で分離される藍還元

菌の特性については、ほとんど報告されていない。

本研究では、浸漬工程で生じるインジゴ前駆体の性質や攪拌（酸化）工程における消石灰の役割について、ラボスケールでの検討と、実際の製藍作業時の試料の分析結果から考察した。また、県内で収集した藍還元菌の性質を調べることで、発酵建てに適した沈殿藍の製法についても考察した。

## 2 実験方法

### 2-1 インジカンの性質

インジカンの安定性評価では、0.5 M リン酸緩衝液（pH 6.0、7.0、8.0）で調整したインジカン（富士フィルムワコーケミカル社製）溶液を、各10 mL ずつコンカルチューブへ分注し、30℃で3日間静置して、その変化量を調べた。

インジカンの酵素反応試験では、リュウキュウアイの生葉（1.3 g）にイオン交換水 10 mL を加えて、氷冷しながらスパチュラで粉碎し、フィルターろ過（0.45 μm）して得られた濾液を粗酵素液として用いた（インジカン含量 34 mg/L）。各 pH・温度条件下で、粗酵素液 250 μL と 0.5 M リン酸緩衝液 200 μL、イオン交換水 450 μL を混合した溶液へ、インジカン水溶液（約100 g/L）100 μL を添加して反応を開始した。振とう（200 rpm）しながら反応を行い、インジカンの変化量を調べた。

### 2-2 カルシウム組成の分析

全カルシウム濃度は、沈殿藍の凍結乾燥粉末を600℃で乾式灰化後、1 g/L の濃度となるように0.1%塩酸を加えて溶かし、これをろ過した試料溶液を原子吸光度計（SOLAAR S4、Thermo Fisher Scientific K.K.）により定量した。炭酸カルシウム濃度は、炭酸バリウム逆滴定法（JIS R 9011:2006に準じた）により、発生する二酸化炭素量から算出した。水酸化カルシウム濃度は、全カルシウムの物質質量から炭酸カルシウム濃度を差し引いて算出した。

### 2-3 藍還元菌の培養

藍還元菌（アルカリバクテリウム属細菌）は、県内8か所の藍染め工房や沈殿藍製造所の試料（藍染め液、沈殿藍）から分離し、16S rRNA 遺伝子領域の解析により分類された40菌株を用いた。培養試験に用いた培地は、基本培地（終濃度：酵母抽出物 1%、ペプトン 0.5%、クエン酸鉄 0.01%、スクロース 0.1%、塩化ナトリウム 3%）を水酸化ナトリウム水溶液でpH調整した後、緩衝液（終濃度 0.2 M）と混合してから濾過滅菌して調整した。培養は96ウェルプレートで行い、培地 190 μL と種

菌培養液 10 μL を各ウェルへ分注してから、30℃で静置培養した。接種直後から24時間毎に、プレートミキサーで1分間振とうしてから、吸光度（660 nm）を測定した。

### 2-4 色素及びその前駆体の分析

インジカン及びインジゴの定量は、HPLC 分析装置（Agilent Technologies 社製 1260 Infinity システム、カラム：Agilent Eclipse plus 3.5 μm, 4.6 × 100 mm、カラム温度：40℃）を用いて行った。

インジゴ分析条件：

- ・検出波長：290 nm
- ・移動相条件：流量 1.0 mL / 分、水 / アセトニトリル = 50 / 50（0 → 5分）、0 / 100（5 → 8分）

インジカン分析条件：

- ・検出波長：280 nm
- ・移動相条件：流量 1.0 mL / 分、水 / アセトニトリル = 95 / 5 → 70 / 30（0 → 5分）、0 / 100（5 → 8分）

## 3 実験結果および考察

### 3-1 インジカンの安定性と加水分解条件

リュウキュウアイ等の藍植物は、藍色素・インジゴの原料となるインジカン細胞内に蓄積している。インジカンは、インジゴの前駆体・インドキシルの配糖体であり、植物自身の加水分解酵素と反応することでインドキシルへと変換される（図1）。製藍作業における浸漬工程では、インジカンと酵素とが反応して、浸漬液中にインドキシルが生成・蓄積される。この工程は、2～5日間かけて行われ、インジカンを効率的に反応させることで、色素収率を高めることができる。そこで、インジカンの水中での安定性と酵素反応速度を調べた。

まず、インジカン自身の安定性を評価するために、30℃で3日間静置した水溶液中の濃度変化を調べた。図2に示すとおり、インジカンは弱酸性から弱アルカリ性領域（pH 6.0、7.0、8.0）において、3日間ほとんど減

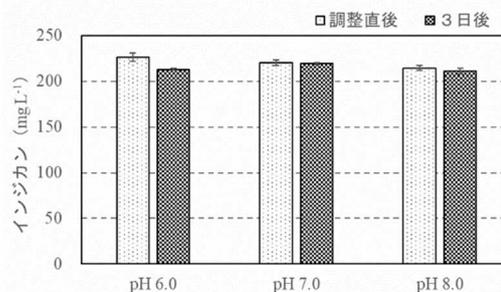


図2 インジカンの安定性

リン酸緩衝液でpH調整したインジカン水溶液を、3日間、30℃で静置した前後の量を比較した。pH 6.0では僅かに減少（約6%）したが、いずれのpHでも有意な差はなかった（n = 3, p > 0.05）。

少せず、安定だった。一方、インジカンの酵素分解によって生成するインドキシルは、非常に反応性が高く、容易に重合や酸化反応を起こすことが知られている<sup>12)</sup>。そこで、以下の酵素反応試験では、インジカンの減少量で反応速度を比較した。

藍葉に含まれるインジカンと、これを加水分解する酵素は、浸漬中に植物細胞の構造変化によって接触し、反応が始まると考えられる。インジカンを効率的に反応させるためには、酵素反応条件を明らかにする必要がある。そこで、リュウキュウアイ由来の粗酵素を用いて、pHや温度の違いによる反応速度への影響を調べた。

緩衝液でpH 5-8に調整した反応液を30℃に保持し、15分毎にインジカンの変化量を測定した(図3)。反応速度は、pH 5のときが最も速く、pHの上昇とともに低下した。60分後の反応速度を比較すると、pH 5のとき8.8 mg L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>、pH 8のとき3.9 mg L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>となっており、2倍以上の差となった。一方、温度条件については、25-33℃の範囲(pH 6.0)では、インジカンの反応速度に影響はみられないことが分かった(図4)。

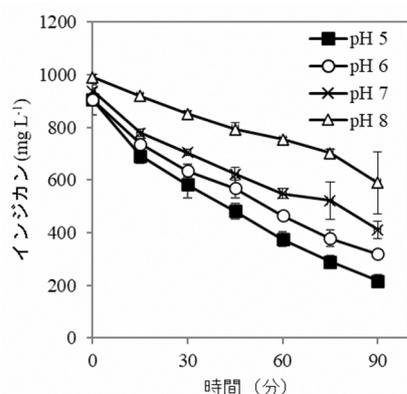


図3 インジカンの反応速度とpH

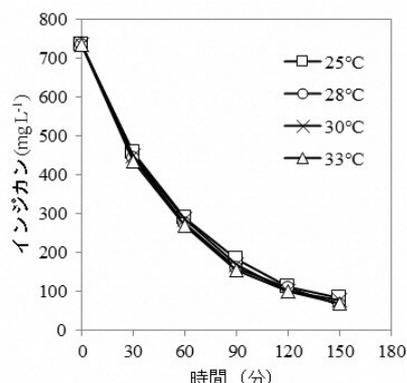


図4 インジカンの反応速度と温度

2021年6月から7月までの期間に沖縄県内で実施された4名の製造者による製藍作業の原料と沈殿藍中のイン

ジゴ含有量を表1に示す。浸漬液の割合は藍葉に対して3-16倍で製造者や規模によって異なったが、消石灰の藍葉に対する割合はいずれも約3%だった。これらの製造者は、2日間浸漬後に攪拌作業を行っており、1日後と攪拌前に浸漬液と浸漬された藍葉の一部を採取して成分分析を行った。同時期に分析した新鮮な藍葉のインジカン量(4試料の平均値)は生葉あたり16.3 mg/gで、表1の値を用いて浸漬液あたりの濃度に換算すると1,000 mg/L以上となる。この新鮮な藍葉(浸漬前)のインジカン量と比較すると、表2に示した浸漬開始から1日後のインジカン量(葉及び浸漬液中の総量)は、最大でも1.6%(製造者D)であり、酵素によるインジカンの分解反応は、浸漬後1日以内にほぼ完了していることが分かる。一方、採取した浸漬液を攪拌・酸化して生じたインジゴの量は、1日後から2日後にかけて増加している。後述するとおり、このときの酸化はアルカリ条件となっていなかったため、インジゴへの変換率は低いと考えられるが、浸漬日数の経過とともにインジカンの変化量以上のインジゴが生成していることは明らかである。藍葉中のインジカンは、早い段階で加水分解されて、1日後には、ほとんどがインジゴの前駆体であるインドキシルへと変換されていることが推測されるが、浸漬液を酸化して生じるインジゴ量は2日後の方が多く、インドキシルの生成よりも遅れて増加していた。これらのことから、浸漬工程では、藍葉の内部で酵素反応が進行し、生じたインドキシルが徐々に浸漬液へと溶出していることが示唆された。

表1 沈殿藍の原料と色素濃度

製造者	藍葉	水	消石灰	沈殿藍のインジゴ含量
A	500 kg	4,500 L	15 kg	4.8 %-dry
B	410 kg	6,500 L	12 kg	(データなし)
C	65 kg	210 L	2.0 kg	8.4 %-dry
D	25 kg	100 L	0.80 kg	4.7 %-dry

表2 浸漬日数と浸漬液中の成分量

製造者	インジカン(mg/L, 浸漬液あたり)				インジゴ(mg/L)	
	葉		浸漬液		1日後	2日後
	1日後	2日後	1日後	2日後		
A	19.2	8.71	23.4	36.0	78.4	87.2
B	(データなし)	4.36	(データなし)	37.6	(データなし)	101
C	42.5	24.3	(検出されず)	28.2	47.4	159
D	36.1	24.3	28.9	48.2	101	138

製藍に関する複数の文献によると、浸漬工程は「藍葉からインジカン抽出する」とされており、「長期間の

浸漬では酵素活性が低下することで色素収量が減る」と説明されているが、科学的根拠は明らかではなかった。今回、リュウキュウアイを用いた結果からは、浸漬工程において、藍葉から抽出されている成分はインドキシルである可能性が示された。反応性の高いインドキシルは、浸漬期間中にインジゴ以外の成分へ変換される可能性がある。インドキシルの性質を調べた研究では、空気酸化によってインドキシルからインジゴが生じる際、過酸化水素が発生し、これが溶液中の別のインドキシルを分解することでインジゴ収率が低下することを明らかにしている<sup>12)</sup>。実際の浸漬液でも、部分的にインジゴが生成している様子が観察されることから、一部のインドキシルが分解されている可能性はある。

藍葉から浸漬液へ成分が溶出するときの条件や速度については、さらに検討する必要があるが、浸漬工程はインドキシルの抽出が律速となっており、分解量を最小限にしなが、抽出濃度が最大になる時間を見極める作業であると理解できる。

### 3-2 攪拌と色素収量

藍葉を浸漬する工程では、加水分解酵素による働きでインジカンからインドキシルが生成する。インドキシルは非常に反応性が高く、酸素存在下では、2分子のインドキシルから1分子のインジゴが生成する。その反応速度は pH の増加とともに高くなり、pH 7.4以上で急激に速度が増加することが明らかにされている<sup>12)</sup>。製藍作業における攪拌（酸化）工程では、攪拌と同時に消石灰を投入することで、浸漬液をアルカリ条件にして、インドキシルからインジゴへの反応効率を高めている。

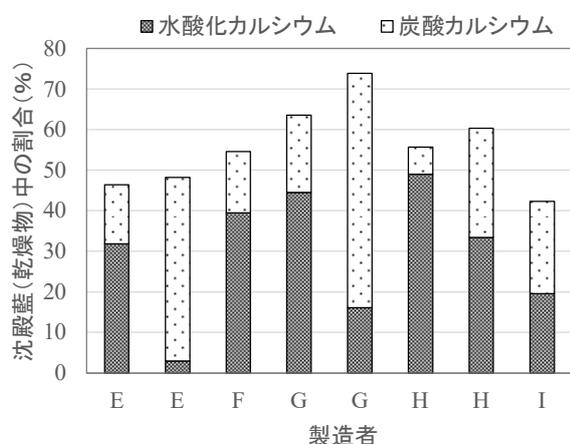


図5 沈殿藍中のカルシウム組成

5名の製造者(E~I)による沈殿藍について、カルシウム組成を分析した。攪拌により空気と接触することで、炭酸カルシウムの割合が増える。

消石灰（水酸化カルシウム）は、カルシウムの水酸化物で、強アルカリ性であるとともに、水に溶けにくい。そのため、粒子の小さなインジゴを共沈させるのに適している。攪拌工程では、インジゴの酸化生成とともに、水酸化カルシウムの一部が空気中の二酸化炭素と反応して、炭酸カルシウムへと変化している。炭酸カルシウムは、水酸化カルシウムよりもさらに水に溶けにくく、アルカリ性は弱くなる。

県内で製造された沈殿藍のカルシウム組成を調べた結果が図5である。攪拌の方法や時間によって、反応の度合いが異なるため、同じ製造者でも製造時期によって組成が異なっている。これらの沈殿藍製造に関する攪拌時間の記録はないが、炭酸カルシウムの割合が多い方は攪拌時間が長かったことが推測される。

炭酸カルシウムの割合が増えるとアルカリ性が弱くなるため、藍還元菌の生育にとっては良い影響が期待できる一方で、インジゴを共沈する機能は低下する。炭酸カルシウムは水酸化物より100倍以上も水に溶けにくく、沈降速度が速い（図6）。沈降速度が速すぎると、インジゴ粒子を吸着する効率が低下する可能性がある。実際に、インジゴとカルシウム化合物を混合して共沈させ、

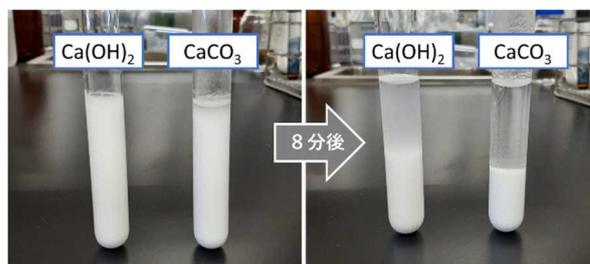


図6 カルシウム化合物の沈降

カルシウム化合物を水と混ぜて攪拌した直後と、静置したときの様子。炭酸カルシウムは、水酸化カルシウムと比べて、短時間で清澄となる。

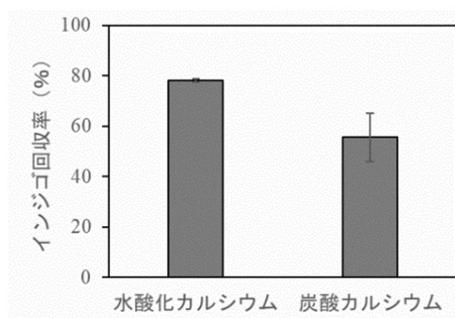


図7 インジゴの共沈回収率

インジゴと混合したカルシウム化合物の沈殿に含まれる色素量を比較した結果、水酸化カルシウムの方が炭酸カルシウムよりも回収率が高かった(n = 4, p < 0.01)。

回収した沈殿に含まれるインジゴ量を調べたところ、水酸化カルシウムの方が炭酸カルシウムと比べて回収率が高いことが分かった（図7）。

以上の結果から、製藍作業において、攪拌時間が「長過ぎてもよい結果が得られない」とされている理由は、攪拌によって、インジゴ生成と同時に、カルシウム化合物の炭酸化が進み、色素の回収率（共沈回収率）を低下させてしまうためであることが分かった。一方で、水酸化カルシウムが多過ぎる沈殿藍は、後述するように、藍還元菌が生育できない。発酵建てに適した沈殿藍を得るためには、攪拌時間を長くならないようにするとともに、投入する消石灰の量を抑制する必要がある。

### 3-3 藍還元菌の生育条件

沈殿藍を用いた発酵建てでは、藍還元菌の機能を利用してインジゴを還元・染色する。県内で製造された沈殿藍やこれを発酵させた藍染め液を調べると、藍還元菌として知られるアルカリバクテリウム属細菌が分離される。アルカリバクテリウム属細菌は、好アルカリ性とされており、高 pH 条件でも生育するが、その範囲は限定される。沈殿藍の製造で用いられる消石灰は強アルカリ性であり、消石灰が過剰な沈殿藍では、藍還元菌を含む微生物は検出されない（図8）。

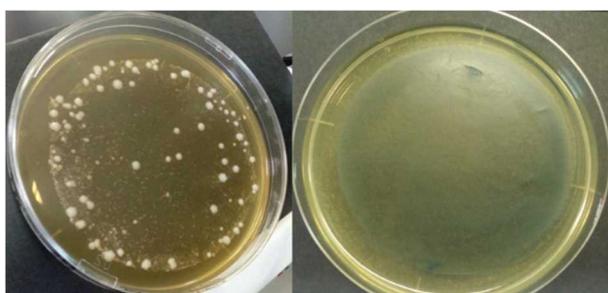


図8 藍建て液と沈殿藍を塗布した寒天培地  
発酵建てした藍染め液（pH 9.2）では沈殿藍由来の微生物が増殖してコロニーを形成する（左）が、消石灰が過剰な沈殿藍は発酵建てが困難で、沈殿藍（10倍希釈時：pH 12.6）自体からもコロニーが検出されない（右）。

そこで、県内で分離した40菌株の藍還元菌（アルカリバクテリウム属細菌）を用いて、生育可能な pH の上限を調べた（図9）。その結果、全ての藍還元菌は、pH 11.6以上では生育できなかった。pH 11.0で僅かに生育が確認できたが、調べた範囲では、pH 9.2-10.0で最も良好に生育することが分かった。

消石灰の水溶液は pH 12以上であり、分離した藍還元菌が生育できる条件ではないが、沈殿藍では、前述したとおり攪拌工程や保管状況によって、一部が炭酸カルシ

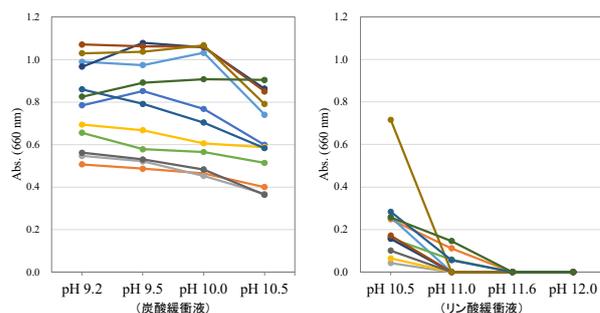


図9 藍還元菌の生育とpH

県内8か所の工房等で採取した藍還元菌40菌株について、異なるpHで生育を比較した。そのうち生育良好な一部の菌株についての結果を示した。調べた40菌株は全て、pH 11.6以上では生育しなかった。

ウムとなっており、最適な条件ではないものの、生存可能であると考えられる。実際に沈殿藍から検出される微生物数（嫌気条件下、pH 9又は10の寒天培地で生育する菌数）は、多いものでも生重量あたり $10^4$  c.f.u./g オーダーであり、良好に発酵建てした染め液の菌数（ $10^8$  c.f.u./mL オーダー）と比べると、消石灰が濃縮された状態の沈殿藍は、藍還元菌にとって適した環境ではないことが分かる。消石灰は、藍還元菌以外の雑菌を抑制する効果も期待されるため、保管期間中アルカリ条件を保てる量が必要だが、還元菌が検出できないほどに多く加えると、発酵建ては非常に困難となる。ちなみに、消石灰が多い沈殿藍を使用した藍染めでは、糖類を加えることでグルコース染めの条件が整うため、藍還元菌が生育できない高 pH 条件でも、比較的早い段階で染色が可能となる<sup>13)</sup>。しかし、これは藍還元菌が関与する発酵建てとは異なるため、目的に応じて使い分けの必要がある。

## 4 まとめ

沈殿藍製造に関して、ラボスケール及び実地のデータから考察を行い、浸漬工程で藍葉から抽出されている成分がインドキシルであることを明らかにし、浸漬の長期化は色素収率の低下に繋がることを示した。また、攪拌工程において、消石灰の炭酸化によって収率が低下することから、攪拌時間を抑制することが重要であることを示した。さらに、藍還元菌を調べた結果、発酵建てに適した沈殿藍を得るためには、消石灰の量を抑制する必要があることを示した。

本研究は、「工芸品原材料確保事業（天然藍染め染料に関する研究、2018技011）」で実施した。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、試料提供等にご協力を賜りました琉球藍関係の皆様には感謝申し上げます。

株式会社沖縄 TLO の関係の皆様には、試料収集や情報提供に関してご尽力賜りました。感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 井関和代, 藍植物による染料加工—「製藍」技術の民族誌的比較研究, 大阪芸術大学紀要, 50—60 (2000)
- 2) Hu, R. et al., Ethnobotanical study on plants used to dye traditional costumes by the Baiku Yao nationality of China, *J. Ethnobiol. Ethnomed.*, doi: 10.1186/s13002-021-00497-2 (2022)
- 3) 琉球藍染めの服 畑から生み出す, タイムス住宅新聞ウェブマガジン, オキナワンダーランド [53], <https://sumai.okinawatimes.co.jp/commons/special/detail/12791>
- 4) 藍建てマニュアル, 株式会社沖縄 TLO, <http://www.okinawa-tlo.com/archives/portfolio-items/%e8%97%8d%e5%bb%ba%e3%81%a6%e3%83%9e%e3%83%8b%e3%83%a5%e3%82%a2%e3%83%ab%e3%81%ae%e5%85%ac%e9%96%8b%e3%81%ab%e3%81%a4%e3%81%84%e3%81%a6>
- 5) 琉球藍の栽培事例集, 株式会社沖縄 TLO, <http://www.okinawa-tlo.com/archives/portfolio-items/%e7%90%89%e7%90%83%e8%97%8d%e6%a0%bd%e5%9f%b9%e4%ba%8b%e4%be%8b%e3%81%ae%e5%85%ac%e9%96%8b%e3%81%ab%e3%81%a4%e3%81%84%e3%81%a6>
- 6) Bechtold, T. et al., Process balance and product quality in the production of natural indigo from *Polygonum tinctorium* Ait. Applying low-technology methods, *Bioresour. Technol.*, 81, 171—177 (2002)
- 7) Shin, Y., et al., Process balance of natural indigo production based on traditional niram method, *Textile Coloration and Finishing*, 24 (4), 253—259 (2012)
- 8) Pattanaik, L. et al., Influence of various oxidation parameter(s) for natural indigo dye formation from *Indigofera tinctoria* L. biomass, *Environmental Challenges*, doi: 10.1016/j.envc.2021.100157 (2021)
- 9) 小橋川順市「沖縄 島々の藍と染色」染色と生活社 (2004)
- 10) 常盤豊他, 琉球地域の伝統産業「藍染め」に関わる微生物の特性, 本報 第15号 平成24年度, 13—22.
- 11) Yumoto, I. et al., *Alkalibacterium indicireducens* sp. nov., an obligate alkaliphile that reduces indigo dye, *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 58, 901—905, (2008)
- 12) Cotson, S. and Holt, S. J., Studies in enzyme cytochemistry IV. Kinetics of aerial oxidation of indoxyl and some of its halogen derivatives, *Proc.R.Soc.B Biol. Sci.*, 148(933), 506—519, doi: 10.1098/rspb.1958.0042 (1958)
- 13) 牛田智, 松尾美恵, グルコースによるインジゴ還元, 日本家政学会誌, 42 (1), 61—65, (1991)

## Chemical changes during the production process of natural indigo

Hiroto YOKARYO, Takayuki OGI, Arina MATSUMOTO

Okinawa Industrial Technology Center

Changes in chemical composition and reaction time of these changes during the production process of natural indigo derived from Ryukyu-ai plant (*Strobilanthes cusia*) were examined, and the conditions to obtain a natural indigo suitable for the fermentation technique were also investigated. In the soaking step, it was suggested that the enzymatic conversion of indican to indoxyl progressed in leaves in a short period of time and indoxyl was then eluted in the soak solution. It was indicated that the decomposition of indoxyl during soaking contributed to decrease dye yield associated with a longer soaking time. In the oxidation step, it was demonstrated that the carbonation of slaked lime along with oxidative production of indigo decreased the dye yield. In addition, it was demonstrated that indigo-reducing bacteria isolated in Okinawa area could not grow under high pH conditions (pH of  $\geq 11.6$ ), indicating that natural indigo with an excessive amount of slaked lime added was difficult to fermentation for dyeing.

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。